

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТОВ НА ПРОЧНОСТЬ СТАЦИОНАРНЫХ ПАРОВЫХ И ГАЗОВЫХ ТУРБИН В АВИАЦИОННОМ МОТОРОСТРОЕНИИ

А. А. Ларин¹, М. А. Бальшеев²

¹ Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт»,

²Центральный государственный научно-технический архив Украины

Харьков

E-mail: larinpokotilovka@mail.ru

Производство авиационной техники является наукоемким процессом, и далеко не последнее место среди его проблем занимают вопросы динамической прочности. Со многими проблемами динамики и прочности ученые и инженеры впервые сталкиваются именно при конструировании и доводке самолетов и авиамоторов. Часто именно авиационная техника стимулировала развитие науки о прочности. Это происходило не случайно, поскольку именно авиационная техника является наиболее нагруженной в силу облегченности конструкций летательных аппаратов.

Но из этого правила есть исключения. При переходе авиации на реактивные газотурбинные двигатели возникли и соответствующие проблемы динамической прочности. Среди них проблемы колебаний лопаточного аппарата турбины: лопаток, облопаченных дисков и ротора, в том числе критические обороты и проход через резонансные режимы, а также проблемы пластического деформирования быстро вращающихся частей роторов в условиях очень высоких температур.

Однако для ученых в области динамики и прочности машин эти проблемы не были новыми, поскольку они уже возникали в стационарных и судовых паровых и газовых турбинах. Дело в том, что указанные узлы авиамоторов аналогичны узлам турбин, и, несмотря на существенные отличия в габаритах, для авиационных турбин вполне применимы механические и математические модели и методы расчетов на прочность, разработанные для стационарных и судовых турбин.

Именно паровые турбины, промышленный выпуск которых начался в конце XIX века, стали первыми машинами, потребовавшими для расчета на прочность применения методов теории упругости и теории колебаний. Уже в первой половине XX века турбины стали одними из основных двигателей на электростанциях и в морском транспорте. Турбостроение также стало одной из самых наукоемких отраслей промышленности.

Среди проблем турбостроения важное место занимают проблемы прочности и надежности. Паровые и газовые турбины работают в условиях высоких температур, а их роторы вращаются с большими оборотами. На лопатки турбины действуют переменные силы давления пара или газа, что вызывает интенсивные колебания лопаточного аппарата. Именно динамические процессы определяют прочность, надежность и долговечность турбомашин.

В 1930-е годы Харьков стал крупным центром мирового турбостроения. В городе был построен крупнейший турбогенераторный завод (ныне ПАО «Турбоатом»). Поначалу на нем выпускались турбины по лицензии американской компании «Дженерал Электрик», чьи специалисты проектировали и участвовали в строительстве завода. Однако при восстановлении завода после фашистской оккупации он перешел на выпуск турбин высокого давления мощностью в 50 и 100 тыс. кВт по отечественным проектам. Новые конструкции по своей экономичности и надежности были на уровне современного турбостроения, однако требовали соответствующего научного обеспечения [1, л. 206]. Поэтому в 1944 году в Киеве была создана Лаборатория проблем быстроходных машин и механизмов АН УССР. Руководил ею академик АН УССР Г. Ф. Проскура. В 1948 году Лаборатория переводится в Харьков, где и сосредоточено украинское турбостроение. По новому штатному расписанию в состав Лаборатории вошел сектор динамики и прочности деталей турбомашин, которым руководил член-корреспондент АН УССР А. П. Филиппов (1899–1978) [2, л. 1]. В том же году Анатолий Петрович стал заведующим кафедрой «Динамика и прочность машин» (ДПМ) Харьковского механико-машиностроительного института (ХММИ), оставаясь сотрудником Лаборатории [3]. В 1950 году ХММИ вошел в состав восстановленного Харьковского политехнического института (ХПИ),

С приходом А. П. Филиппова основным научным направлением кафедры ДПМ стало исследование динамики и прочности турбомашин [4; 5]. Благодаря именно этим задачам в 1950-е годы в Харькове сформировалась мощная научная школа механики и прикладной математики, связанная с деятельностью ученых ХПИ и Лаборатории проблем быстроходных машин и механизмов. Впоследствии после ряда реорганизаций на базе Лаборатории был создан Институт проблем машиностроения (ИПМаш).

Лидером школы стал А. П. Филиппов, который в 1954 году сменил Г. Ф. Проскуру на посту руководителя Лаборатории. Этот выдающийся ученый, избранный в 1967 году академиком АН УССР, уделял большое внимание подготовке кадров, им воспитано не одно поколение инженеров и ученых. Трудно переоценить роль Анатолия Петровича в подготовке кадров высшей квалификации. Десятки молодых ученых стали под его руководством кандидатами наук. Докторами наук стали его ученики – сотрудники ХПИ, профессора А. В. Бурлаков, С. И. Богомолов, Е. Г. Голоскоков и В. Б. Гринев. Среди учеников

А. П. Филиппова также сотрудники ИПМаш – доктора технических наук: академик НАНУ А. Н. Подгорный – первый директор института, Ю. С. Воробьев, Б. Я. Кантор и Н. Г. Шульженко. Позже также защитили докторские диссертации ученики А. П. Филиппова: С. С. Кохманюк, Е. Г. Янютин и В. П. Ольшанский.

А. П. Филиппов был одним из пионеров широкого использования вычислительной техники для решения задач динамики и прочности в машиностроении и строительстве. В соавторстве с В. И. Булгаковым, Ю. С. Воробьевым, Б. Я. Кантором и Г. А. Марченко им были изданы одни из первых книг, посвященных применению ЭВМ в механике [3].

Среди вынужденных колебаний особое место занимают нестационарные колебания, возникающие при переходе от одного установившегося режима работы машины к другому. Проблемы этих колебаний были подробно рассмотрены в двух монографиях А. П. Филиппова, написанных совместно с одним из известнейших его учеников профессором Е. Г. Голоскоковым. В 1971 году в Берлине, в Германской демократической республике была издана еще одна их книга, посвященная нестационарным колебаниям [6].

Нестационарным колебаниям машин посвящена и докторская диссертация Евгения Григорьевича. Результаты исследований были применены к решению проблем турбомашин, в частности прохождению ротора через резонанс. Наряду с заводами, выпускающими стационарные и судовые турбины, эти результаты были внедрены также в Запорожском машиностроительном конструкторском бюро (ЗМКБ) «Прогресс» им. А. Г. Ивченко, которое занимается конструированием авиамоторов [7, ед. хр. 2184, л. 18–19; ед. хр. 3028, л. 26–27].

Проблеме совместных колебаний рабочих лопаток и дисков турбомашин были посвящены кандидатская и докторская диссертации профессора С. И. Богомолова (1921–1999), возглавлявшего кафедру ДПМ ХПИ с 1960 по 1991 год. Впоследствии коллективом сотрудников кафедры ДПМ во главе с Сергеем Ивановичем был разработан единый подход к решению задач о колебаниях сложных механических систем, позволявшим наилучшим способом использовать ограниченные ресурсы ЭВМ того времени. Этот подход применен для исследования колебаний не только стационарных паровых и газовых турбин, но и авиационных газотурбинных двигателей [7, ед. хр. 2600, л. 55; 8].

Потребностями турбостроения продиктована и тема кандидатской диссертации А. В. Бурлакова (1921–1981), посвященная исследованию напряженно-деформированного состояния элементов паропровода в условиях ползучести материала. Анатолий Васильевич впоследствии стал крупным ученым в области теории упругости, пластичности и ползучести, доктором технических наук, профессором кафедры динамики и прочности машин ХПИ.

Турбина работает в условиях высоких температур, а ее ротор вращается с большими оборотами. В связи с этим важнейшей проблемой в турбостроении

является задач пластичности таких элементов турбомашин как диски и оболочки вращения. Фундаментальные исследования Анатолия Николаевича Подгорного (1932–1996) и Вадима Васильевича Бортового (1933–2010), посвященные этим вопросам нашли применение в задачах турбостроения.

Все указанные работы проводились в рамках главной темы проблемной лаборатории – «Исследования напряженного состояния конструкций и деталей машин, работающих в условиях высоких температур и больших оборотов», которая выполнялась основным составом сотрудников лаборатории и была включена в план важнейших работ в соответствии с Постановлением Совета Министров СССР [7, ед. хр. 2184, л. 3–5]. Работы сотрудников ИПМаш и инженерно-физического факультета ХПИ в области прочности энергетических машин были успешно внедрены в практику турбостроения, за что в 1984 году коллектив ученых этих организаций был удостоен звания Лауреатов Государственной премии СССР. Но, наряду с этим, достижения харьковских ученых в области динамики и прочности турбин были эффективно использованы и при создании авиамооторов. В частности результаты их исследований были внедрены в Центральном институте авиационного моторостроения и ЗМКБ «Прогресс» [7, ед. хр. 696, л. 1; ед. хр. 1787, л. 4–5; ед. хр. 3028, л. 12, 26–27]. Таким образом, работы, начатые для потребностей турбостроения, приобрели более общее значение и с успехом были использованы в авиационном моторостроении.

Литература

1. Центральный государственный архив общественных объединений Украины ф.1, оп.23, ед. хр. 5125, 298 л.
2. Архив Института проблем машиностроения НАН Украины, Опись № 1 документальных материалов постоянного хранения за 1944 – 1969 годы
3. **Воробьев Ю. С.** Академик Анатолий Петрович Филиппов – лидер научной школы в области динамики и прочности машин (к 110-летию со дня рождения) / Ю. С. Воробьев, А. А. Ларин, Г. И. Львов // Вестник Национального технического университета «ХПИ». - Динамика и прочность машин, 2009. – Вып. 42. – С. 3–7
4. **Завистовская Е. И.** Проблемы прочности в турбостроении и развитие школы механики НТУ «ХПИ» / Е. И. Завистовская, А. А. Ларин // Вестник Национального технического университета «ХПИ». - История науки и техники. - 2009. – Вып. 48. – С. 40–49
5. **Ларін А. О.** Співпраця Харківського політехнічного інституту з Турбоатомом в області динаміки і міцності машин / А. О. Ларін, С. О. Меньшиков // Питання історії науки і техніки, 2012. – № 4. – с. 57–63

6. **Ларин А. А.** Вклад Евгения Григорьевича Голоскокова в развитие теории нестационарных колебаний / А. А. Ларин // Вестник Национального технического университета «ХПИ». - Динамика и прочность машин. – 2008. – Вып. 36. – С. 4–11

7. Государственный архив Харьковской области, ф. Р-1682, оп. 13

8. **Кедровская О. С.** Жизненный и творческий путь Сергея Ивановича Богомолова (К 90-летию со дня рождения) / О. С. Кедровская, А. А. Ларин, Г. И. Львов // Вісник Національного технічного університету «ХПИ». - Динаміка і міцність машин, 2012. – Вип. 55. – С. 3–12